

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

FD 30.33664

#2
Bd
Sd

4



REC'D 07 JUL 2000	
WIPO	PCT

09/980754

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 199 20 322.9

Anmeldetag: 03. Mai 1999

Anmelder/Inhaber: STEAG RTP Systems GmbH,
Dornstadt/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Erzeugen von Defekten
in einer Gitterstruktur eines Halbleitermaterials

IPC: H 01 L 21/324

Bemerkung: Die Anmelderin firmierte bei Einreichung dieser
Patentanmeldung unter der Bezeichnung:
STEAG AST Elektronik GmbH

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Anmeldung.

München, den 15. Juni 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Seiler

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Seiler

Verfahren zum Erzeugen von Defekten in einer Gitterstruktur
eines Halbleitermaterials.

Die folgende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Erzeugen von Defekten in einer Gitterstruktur eines Halbleitermaterials während dessen thermischer Behandlung.

Bei der Behandlung von Halbleitermaterialien ist es bekannt, die Halbleitermaterialien thermisch zu behandeln, um das Dotierprofil von Fremdatomen innerhalb des Halbleitermaterials zu beeinflussen.

Dabei ist es beispielsweise aus W. Lerch et al.; Mat. Res. Soc. Symp. Proc. (1998), Band 525, Seiten 237-255 und D.F. Downey et al.; Mat. Res. Soc. Symp. Proc. (1998), Band 525, Seiten 263-271 bekannt, das Dotierprofil von Bor innerhalb eines Halbleitermaterials mittels eines Sauerstoff enthaltenden Prozeßgases bei konstanter thermischer Belastung zu beeinflussen. Das Sauerstoff enthaltende Prozeßgas bewirkt eine Oxidation des Si-Halbleitermaterials, was zu einer Übersättigung von Eigenzwischengitteratomen (Si-Atome auf Zwischengitterplätzen) führt, deren Konzentration das Diffusionsverhalten des Bors und somit das Dottieprofil beeinflusst.

Allgemein lassen sich durch das oben beschriebene Verfahren im wesentlichen nur solche Dotierprofile beeinflussen, deren Fremdatome im wesentlichen über den sogenannten Kick-Out-Mechanismus auf einen Gitterplatz gelangen. Bei diesem Mechanismus gelangt das zuvor im Zwischengitterbereich befindliche Fremdatom auf einem Gitterplatz, wobei ein Silizium- (oder allgemein Gitter-) Atom von seinem Gitterplatz in das Zwischengitter verdrängt wird.

Es ist ferner bekannt, daß das Dotierprofil von Fremdatomen, welche Gitterdefekte innerhalb eines Halbleitermaterials bilden, durch die Veränderung des Temperaturverlaufs bei einer thermischen Behandlung veränderbar ist, wobei häufig hohe thermische Belastungen innerhalb des Halbleitermaterials er-

zeugt werden, um gewünschte Profile zu erreichen. Dies birgt jedoch das Risiko der Beschädigung des thermisch behandelten Halbleiters in sich. Darüber hinaus ist der Energieaufwand für die thermische Behandlung sehr hoch.

5 Ausgehend von diesem oben beschriebenen Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein neues Verfahren vorzugeben, welches auf einfache und kostengünstige Weise eine genaue Steuerung von Gitterdefekten in einem Halbleitermaterial ermöglicht.

10 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zum Erzeugen von Defekten in einer Gitterstruktur eines Halbleitermaterials während dessen thermischer Behandlung, bei dem die Defektkonzentration und/oder -verteilung in Abhängigkeit von einer Prozeßgasatmosphäre gesteuert wird. Das obige Verfahren ermöglicht eine Steuerung der Defektkonzentration
15 und/oder -verteilung in einer Gitterstruktur eines Halbleitermaterials während dessen thermischer Behandlung, bei im wesentlichen konstantem thermischen Budget (Integral der Temperatur-Zeit-Kurve) der thermischen Behandlung. Somit kann bei möglichst minimaler thermischer Belastung die Defektkonzentration und/oder -verteilung in Abhängigkeit von der Prozeßgasatmosphäre
20 gesteuert werden. Die Defektkonzentration und/oder -verteilung beeinflusst wiederum die Konzentration sowie das Diffusionsverhalten von Fremdatomen innerhalb des Halbleitermaterials.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die erzeugten
25 Defekte Gitterfehlstellen. Durch die Erzeugung von Gitterfehlstellen können Fremdatome unabhängig von dem oben genannten Kick-Out-Mechanismus auf Gitterplätze gelangen. Dies ist insbesondere bei größeren Fremdatomen wie Arsen oder Antimon vorteilhaft, welche im wesentlichen nur durch Auffüllen von Gitterfehlstellen auf Gitterplätze des Halbleiters gelangen.

30 Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind die Defekte Halbleiteratome auf Zwischengitterplätzen, welche wiederum einen anderen Mechanismus fördern, mittels dem die Fremdatome auf Gitterplätze gelangen.

Vorteilhafterweise werden die Defekte im Bereich der Halbleiteroberfläche mit einer Tiefe von 0 bis ca. 1000 Angström erzeugt. Die Defekte liegen somit auch im Bereich implantierter Fremdatome wodurch die Verteilung und Kon-
5 zentration der Fremdatome erheblich beeinflußt wird.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Zusammensetzung des Prozeßgases gesteuert. Über die Zusammensetzung des Prozeßgases, welches aus einem Gemisch mehrerer Gase bestehen kann,
10 läßt sich auf besonders einfache, genaue und effektive Weise die Defektkonzentration und/oder -verteilung steuern. Vorzugsweise wird die Konzentration des Prozeßgases oder der Prozeßgaskomponente innerhalb eines inerten Gases, welches als Trägergas fungiert, gesteuert.

15 Vorzugsweise wird der Partialdruck des Prozeßgases gesteuert.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das Prozeßgas ein Stickstoff enthaltendes Gas, welches bevorzugte Gitterfehlstellen erzeugt, die wesentlich das Dotierprofil von Fremdatomen beeinflußt. Dabei
20 weist das Prozeßgas vorzugsweise NH_3 oder N_2 auf.

Vorteilhafterweise weist das Prozeßgas keinen Sauerstoff auf, insbesondere keinen freien Sauerstoff, der zu einer Oxidierung des Halbleitermaterials führen würde, und die Erzeugung von Fehlstellen nachteilig beeinträchtigen
25 könnte.

Bei einer alternativen Ausführungsform hingegen, weist das Prozeßgas eine Sauerstoff enthaltende Komponente auf, die zu einer Erhöhung der Defektkonzentration führen kann. Dabei weist die Sauerstoff enthaltende Kompo-
30 nente vorzugsweise N_2O auf.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der zeitliche Temperaturverlauf der thermischen Behandlung gesteuert und vorzugs-

weise die thermische Belastung des Halbleitermaterials auf ein Minimum reduziert.

5 Ferner kann über die Steuerung des zeitlichen Temperaturverlaufs der thermischen Behandlung das Diffusionsverhalten der Defekte sowie implantierter Fremdatome gesteuert werden. Hierüber kann insbesondere die Eindringtiefe der Fehlstellen sowie der Fremdatome und somit die räumliche Verteilung derselben innerhalb des Halbleitermaterials beeinflußt werden.

10 Vorzugsweise enthält die Prozeßgasatmosphäre Argon, welches als inertes Trägergas fungiert.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird eine $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ -Schicht auf der Oberfläche des Halbleiters erzeugt. Vorzugsweise liegt die
15 Dicke der Schicht zwischen 0 und 20 Angström.

Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird von der thermischen Behandlung vorzugsweise eine natürliche Si_2O -Schicht von der Halbleiteroberfläche entfernt, um eine oxidfreie Oberflächenschicht erzeugen zu
20 können. Während der thermischen Behandlung wird dann vorzugsweise ein Si_3N_4 -Schicht auf dem Halbleiterwafer mit einer Dicke zwischen 0 und ungefähr 40 Angström erzeugt.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung liegt die
25 NH_3 -Konzentration zwischen ungefähr 2500 bis 10000ppm. Vorzugsweise liegt die NH_3 -Konzentration zwischen 2500 bis 5000 ppm.

Um Beschädigungen des Wafers zu vermeiden, wird die thermische Belastung des Halbleiterwafers während der thermischen Behandlung vorzugsweise auf
30 ein Minimum reduziert, welches notwendig ist, um die Defekte über die Prozeßgasatmosphäre zu steuern.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird über die Konzentration und/oder Verteilung der Defekte eine Konzentration und/oder Verteilung von Fremdatomen innerhalb des Halbleitermaterials gesteuert.

5

Bei einer Ausführungsform der Erfindung wird das obige Verfahren vorzugsweise an einem dotiertem Halbleiter durchgeführt, wodurch bei der thermischen Behandlung gleichzeitig die Defektkonzentration und/oder -verteilung mit der Konzentration und/oder -verteilung der Fremdatome gesteuert wird.

10

Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird das Verfahren an einem undotierten Halbleiter durchgeführt. Hierdurch läßt sich das Halbleitermaterial für eine anschließend, gezielte Dotierung des Halbleitermaterials vorbereiten, was einen unmittelbaren Einfluß auf die nachfolgende Behandlungsprozesse des Halbleiters hat.

15

Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert; es zeigen:

20 Figur 1 die Dicke einer Oxy-Nitrid-Schicht als Funktion der NH_3 -Konzentration in einer Argon-Atmosphäre für einen mit natürlichem Oxyd bedeckten Si-Wafer;

25 Figur 2 die prozentual in einem dotierten Siliziumhalbleiter verbleibende Menge an Fremdatomen in Abhängigkeit von der NH_3 -Konzentration für eine vorgegebene Temperatur-Zeit-Prozeßführung in einem RTP-System, sowie die Abhängigkeit des Schichtwiderstandes des Halbleiters in Abhängigkeit von der NH_3 -Konzentration;

30 Figur 3 die Arsenverteilung in einem mit Arsen-implantierten Siliziumhalbleitermaterial für verschiedene NH_3 -Konzentrationen in einem inerten Gas, in Abhängigkeit von der Eindringtiefe derselben von der Waferoberfläche, für einen vorgegebenen Verlauf der Temperatur-Zeit-Führung der thermischen Behandlung;

Figur 4 den Schichtwiderstand eines Halbleiters nach einer thermischen Behandlung mit vorgegebenen Temperatur-Zeit-Führungen, in Abhängigkeit von einer NH_3 -Konzentration in Argon;

Figur 5 die Konzentration von Arsenatomen in einem Siliziumhalbleiterwafer in Abhängigkeit von der Eindringtiefe von der Substratoberfläche für verschiedene Prozeßgaszusammensetzungen, bei gleichen Temperatur-Zeit-Führungen.

Figur 1 zeigt die Dicke einer Oxy-Nitrid-Schicht als Funktion der NH_3 -Konzentration in einer Argonatmosphäre für eine mit einem natürlichen Oxid bedeckten Siliziumhalbleiterwafer, der einer thermischen Behandlung von 1000°C für 10 Sekunden unterzogen wird. Bei der, der Figur 1 zugrundeliegenden thermischen Behandlung wurde Argon als inertes Trägergas für die NH_3 -Komponente eingesetzt. Die thermische Behandlung umfaßt das Aufheizen des Halbleiterwafers auf 1100°C für 10 Sekunden. Die Oxy-Nitrid-Schicht wird dabei während der thermischen Behandlung aufgebaut.

Wie Figur 1 zu entnehmen ist, ist die $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ -Schicht nach der thermischen Behandlung bei sehr kleinen NH_3 -Konzentrationen (im Bereich von 0 bis 1ppm) kleiner als die ursprüngliche, natürliche Oxidschicht-Dicke, die wie aus Figur 1 ersichtlich ist, etwa 13 Angström beträgt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei diesen NH_3 -Konzentrationen ein "Ätzen" des Si-Wafers stattfindet.

Bei zunehmender NH_3 -Konzentration (aber gleichbleibender thermischer Behandlung) wächst die $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ -Schicht an und erreicht im reinen NH_3 bei mit ca. 20 Angström ein Maximum. Dabei ist zu beachten, daß die maximale Schichtdicke wesentlich von der Prozeßführung, d.h. von dem Temperatur-Zeit-Verlauf des Prozesses abhängt.

30

Für thermische Behandlungen mit Temperaturen unter ca. 1000°C läßt sich anstelle von Argon N_2 als Inertgas verwendet, da aufgrund der hohen Bindungsenergie von N_2 unterhalb von 1000°C keine oder nur eine geringe Nitri-

dierung auftritt. Bei Temperaturen oberhalb von 1000°C kann auch N_2 als nitrifizierende Komponente in einem Prozeßgas, zum Beispiel zusammen mit Argon oder auch SH_3 verwendet werden.

- 5 Bei dem der Figur 1 zugrundeliegenden Verfahren wurde ein Halbleiterwafer mit einer natürlichen Siliziumoxidschicht behandelt. Alternativ kann vor der Behandlung jedoch auch das natürliche Siliziumoxid von dem Wafer entfernt werden, z.B. durch Naßätzen, VPC (vapour phase cleaning) oder andere bekannte Verfahren, so daß bei der anschließenden thermischen Behandlung im wesentlichen eine Si_3N_4 -Schicht gebildet wird. Die hierbei erreichbaren Si_3N_4 -Schichtdicken liegen in einem Bereich von ca. 0 bis 40 Angström, wobei die Schichtdicke sowohl von der Konzentration und der Zusammensetzung des stickstoffhaltigen Prozeßgases als auch von der Temperatur-Zeit-Führung der thermischen Behandlung abhängt.

- 15 Figur 2 zeigt schematisch die in einem dotierten Siliziumhalbleiter verbleibende Menge R_0 an Fremdatomen, sowie den Schichtwiderstand R_s in Abhängigkeit von der NH_3 -Konzentration nach einer thermischen Behandlung mit vorgegebener Temperatur-Zeit-Prozeßführung.

- 20 Figur 2 zeigt, daß bei geringer NH_3 -Konzentration ein großer Teil der Fremdatome den Halbleiter verlassen, was darauf zurückzuführen ist, daß keine ausreichenden Gitterdefekte vorhanden sind, um eine Aufnahme der Fremdatome an Gitterstellen zu ermöglichen. Hierdurch wird die Konzentration der Fremdatome R_0 im Halbleiter stark reduziert. Diese Reduzierung führt nachteilig zu einer Erhöhung des Schichtwiderstandes R_s , was den Einsatz des Halbleiterwafers nachteilig beeinflusst. Bei einer höheren NH_3 -Konzentration steigt die Menge an verbleibenden Fremdatomen innerhalb des Halbleiterwafers an und erreicht bei einer Konzentration von ungefähr 2500 ppm nahezu ein Maximum. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die stickstoffhaltige Prozeßgaskomponente an der Halbleiteroberfläche eine Nitrifizierung bewirkt, die als Diffusionsbarriere für die Fremdatome wirkt.

Beispielsweise läßt sich bei einer Konzentration von ca. 2500 bis 10000 ppm NH_3 in einem inerten Gas, wie zum Beispiel Argon, bei einem Temperatur-Zeit-Prozeß von 900 ° C bis 1150 °C mit einer Dauer von 10 Sekunden, das "Ausdiffundieren" von Fremdatomen in einem dotierten Halbleiterwafer (wie von Arsen oder Antimon) in Silizium fast vollständig unterdrücken. Dies wird durch eine $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ - oder Si_3N_4 -Schicht mit einer Dicke von 10 bis 16 Angström erreicht (siehe Figur 1). Dies ist insbesondere bei sehr dünnen pn-Übergängen von großem Vorteil, da hier ein "Ausdiffundieren" von Fremdatomen zu undefinierten pn-Übergängen mit undefiniert hohen Schichtwiderständen führen würde.

Figur 3 zeigt beispielhaft die Verteilung von Arsen in einem implantieren Siliziumhalbleiter nach einer vorgegebenen thermischen Behandlung mit gleichbleibendem thermischen Budget für verschiedene NH_3 -Konzentrationen in Argon, in Abhängigkeit von der Eindringtiefe von der Waferoberfläche. Dabei wurde jeweils von gleichen Ausgangsbedingungen ausgegangen.

Figur 3 zeigt, daß bei einer Behandlung des dotierten Siliziumhalbleiters in reinem Argon, die Konzentration, sowie die Eindringtiefe des Arsens am geringsten ist. Bei steigender NH_3 -Konzentration ergibt sich sowohl eine erhöhte Arsen-Konzentration sowie eine erhöhte Eindringtiefe der Arsenatome in den Siliziumhalbleiterwafer.

Figur 3 zeigt ferner, daß bei zunehmender NH_3 -Konzentration die Arsen-Konzentration zunimmt und die Arsenatome weiter in das Halbleitersubstrat hinein diffundieren. Dies zeigt, daß allein durch die Wahl der Konzentration wenigstens einer stickstoffenthaltenden Prozeßgaskomponente bei einem vorgegebenen Temperatur-Zeit-Prozeß die Verteilung der Fremdatome und die Eindringtiefe der Fremdatome eingestellt werden kann. Dabei ergibt sich die Möglichkeit, bei minimaler noch tolerierbarer thermischer Belastung des Halbleiters, die Fremdatomverteilung in weiten Bereichen allein über die Prozeßgaszusammensetzung einzustellen. Dabei läßt sich der Schichtwiderstand

bis zu einem Faktor von ungefähr 10 variieren, und in gleicher Weise kann die Eindringtiefe der Fremdatome etwa um einen Faktor 2 variiert werden.

Figur 4 zeigt den Schichtwiderstand eines mit Arsen implantierten Silizium-
 5 halbleiterwafers in Abhängigkeit von der NH_3 -Konzentration in einem Argon-
 Trägergas, für verschiedene Temperaturen der thermischen Behandlung bei
 einer jeweiligen Prozeßzeit von 10 Sekunden. Es ist zu erkennen, daß der
 Schichtwiderstand bei höheren NH_3 -Konzentrationen verringert wird. Dabei
 tritt bei einer Konzentration ab ca. 10000 ppm NH_3 ein Minimum des Schichtwi-
 10 derstandes auf, der sich auch mit weiter steigenden NH_3 -Konzentrationen
 nicht weiter verringert. Der Wert des Schichtwiderstandes wird ebenfalls we-
 sentlich von der Temperatur-Zeit-Prozeßführung mitbestimmt. Dabei ist zu
 erkennen, daß bei höheren Temperaturen der Schichtwiderstand kleiner wird.
 Um Beschädigungen des Halbleitermaterials zu verhindern sollte jedoch das
 15 thermische Budget minimiert werden, dabei sollten die Prozeßzeiten vorzugs-
 weise unter 60 Sekunden liegen und die Temperaturen sollten zwischen
 950°C und 1150°C liegen. Bei sehr dünnen pn-Übergängen werden dabei so-
 genannte "Flash-Prozesse" verwendet, die durch sehr hohe Temperaturan-
 stiegsraten, zwischen 100°C pro Sekunde und 500°C pro Sekunde sowie ein
 20 rasches Abkühlen, zwischen ca. 25°C pro Sekunde bis 150°C pro Sekunde,
 definiert sind. Bei diesen Prozessen wird die Maximaltemperatur häufig für
 weniger als 5 Sekunden beibehalten. Oft wird sogar direkt von der Aufheiz-
 phase in eine Abkühlphase übergegangen, wodurch sehr kleine thermische
 Budgets erreichbar sind.

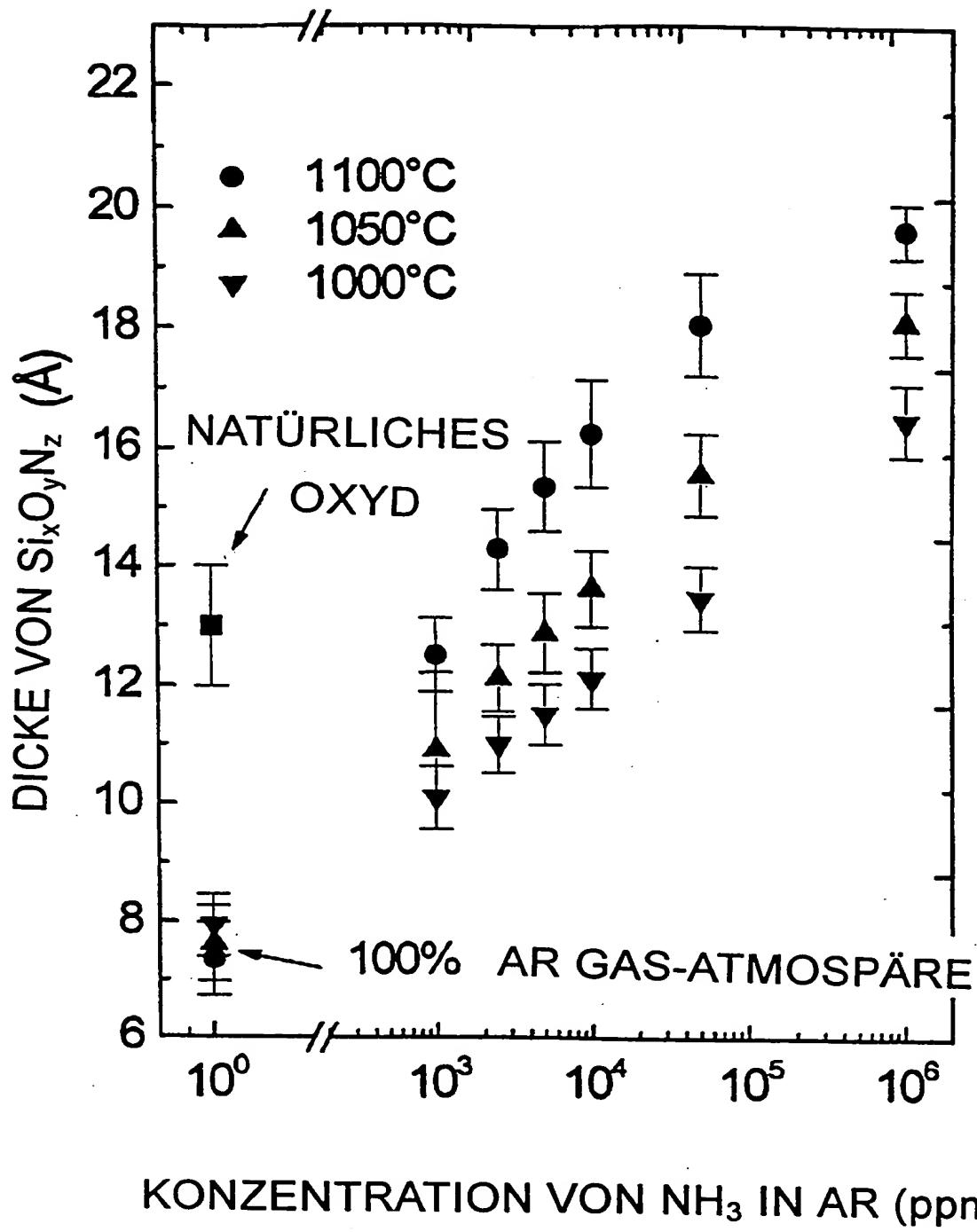
25

Figur 5 zeigt wiederum die Konzentration von Arsenatomen in einem dotierten
 Si-Halbleiterwafer in Abhängigkeit von der Eindringtiefe von der Substratober-
 30 fläche für verschiedene Prozeßgaszusammensetzungen, bei gleichbleibenden
 Temperatur-Zeit-Prozessen. Bei dem der Figur 5 zugrunde liegenden Verfah-
 ren, wurde neben NH_3 in einer Argonatmosphäre zusätzlich eine sauerstoff-
 fenthaltende Komponente, nämlich N_2O verwendet.

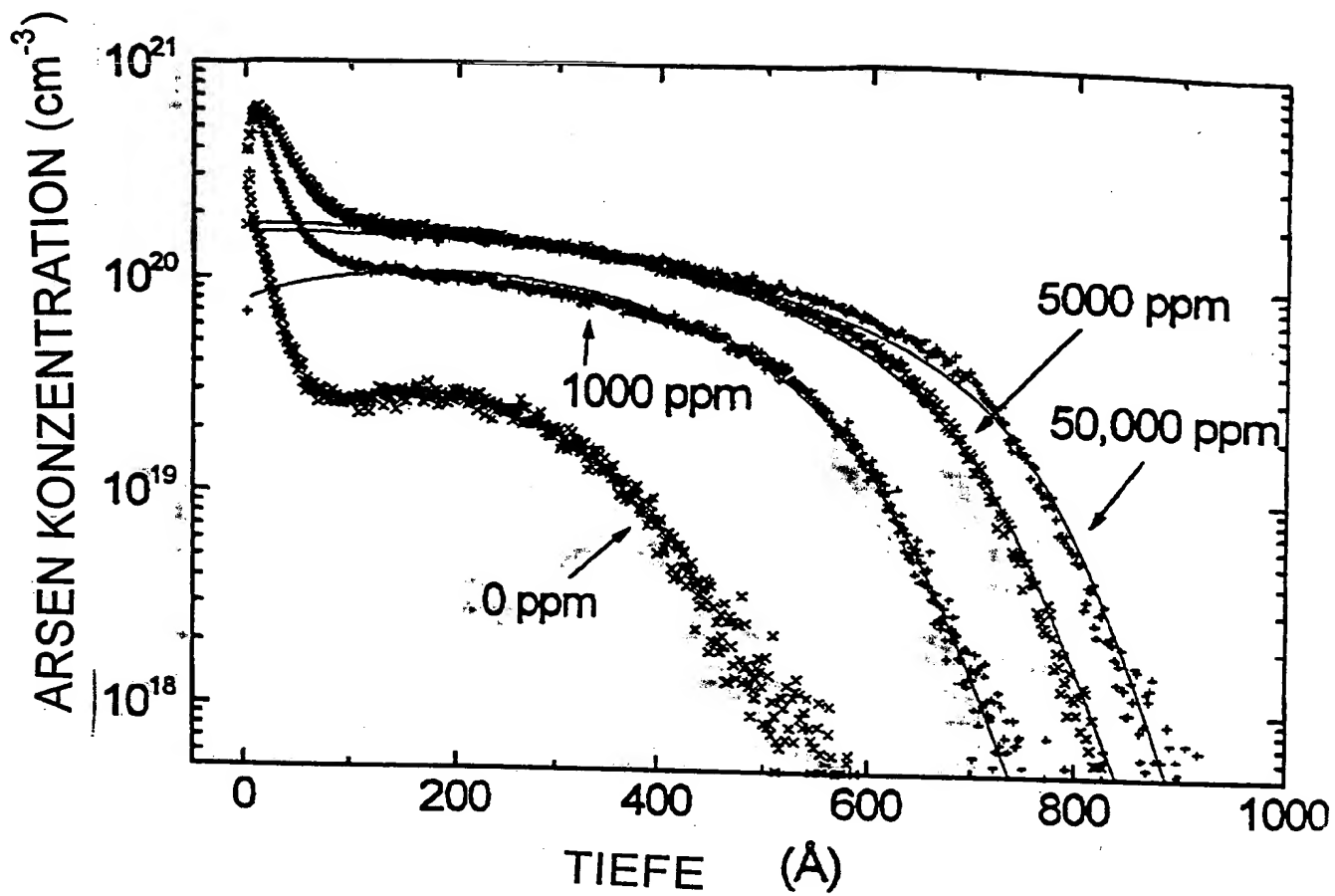
Figur 5 zeigt daß die Zugabe von N_2O die Arsenkonzentration steigert. Hierdurch läßt sich auch der Schichtwiderstand weiter verringern. Darüber hinaus zeigt Figur 5, daß durch die Zugabe von N_2O die Eindringtiefe der Arsenatome reduziert wird, was insbesondere bei dünnen pn-Übergängen zweckmäßig ist. Durch Zugabe von Sauerstoffhaltigem Gas läßt sich die Arsenkonzentration abhängig von der Konzentration des stickstoffenthaltenden Gases um bis zu etwa dem 20fachen steigern, wobei die Eindringtiefe der Fremdatome nur unwesentlich vergrößert wird, und sich gegebenenfalls reduzieren läßt. Hierdurch kann die Arsenverteilung an ein gewünschtes Kastenprofil mit steil abfallender Flanke angenähert werden.

Die Erfindung wurde zuvor anhand bestimmter Ausführungsbeispiele beschrieben, ohne jedoch auf diese speziellen Beispiele beschränkt zu sein. Insbesondere ist es für die Durchführung des Verfahrens nicht notwendig, daß die Prozeßgasatmosphäre ein inertes Trägergas beinhaltet. Vielmehr könnte das Verfahren unter Unterdruckbedingungen durchgeführt werden, wobei die Prozeßgaskonzentration über den Druck regelbar ist. Ferner ist die Erfindung nicht auf die Verwendung von NH_3 oder N_2O als Prozeßgaskomponenten beschränkt. Auch ist das Verfahren bei nicht dotierten Halbleitern einsetzbar, um diese für eine nachfolgende Behandlung wie zum Beispiel eine Dotierung vorzubereiten.

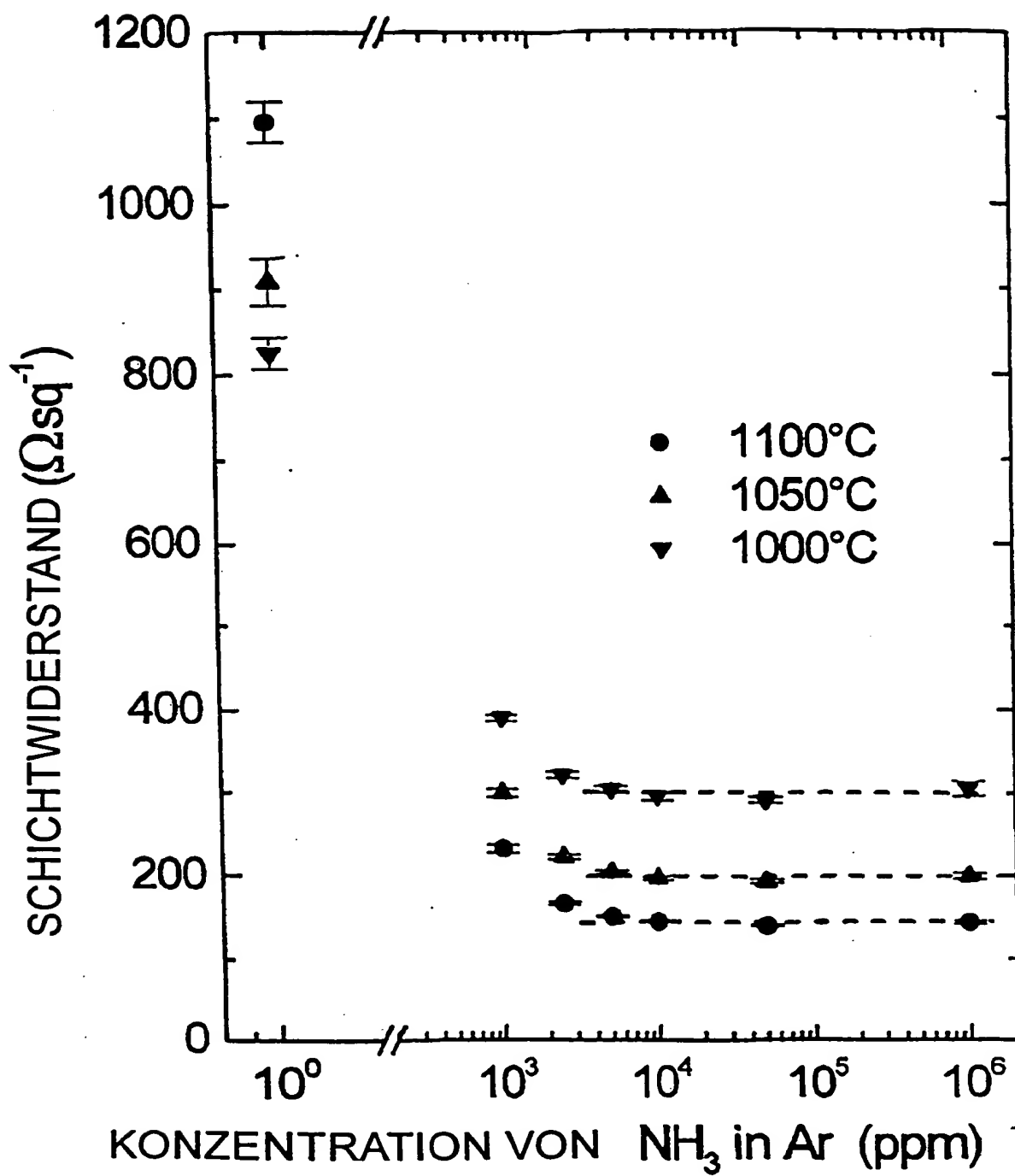
19. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die NH_3 -Konzentration 2500 bis 10000 ppm beträgt.
- 5 20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die NH_3 -Konzentration 2500 bis 5000 ppm beträgt.
- 10 21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die thermische Belastung des Halbleiterwafers auf ein Minimum reduziert wird.
- 15 22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß über die Verteilung der Defekte eine Verteilung von Fremdatomen innerhalb des Halbleitermaterials gesteuert wird.
- 20 23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, daß das Verfahren an einem dotierten Halbleiter durchgeführt wird.
- 25 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren an einem undotierten Halbleiter durchgeführt wird.
- 25 25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiter dotiert wird.



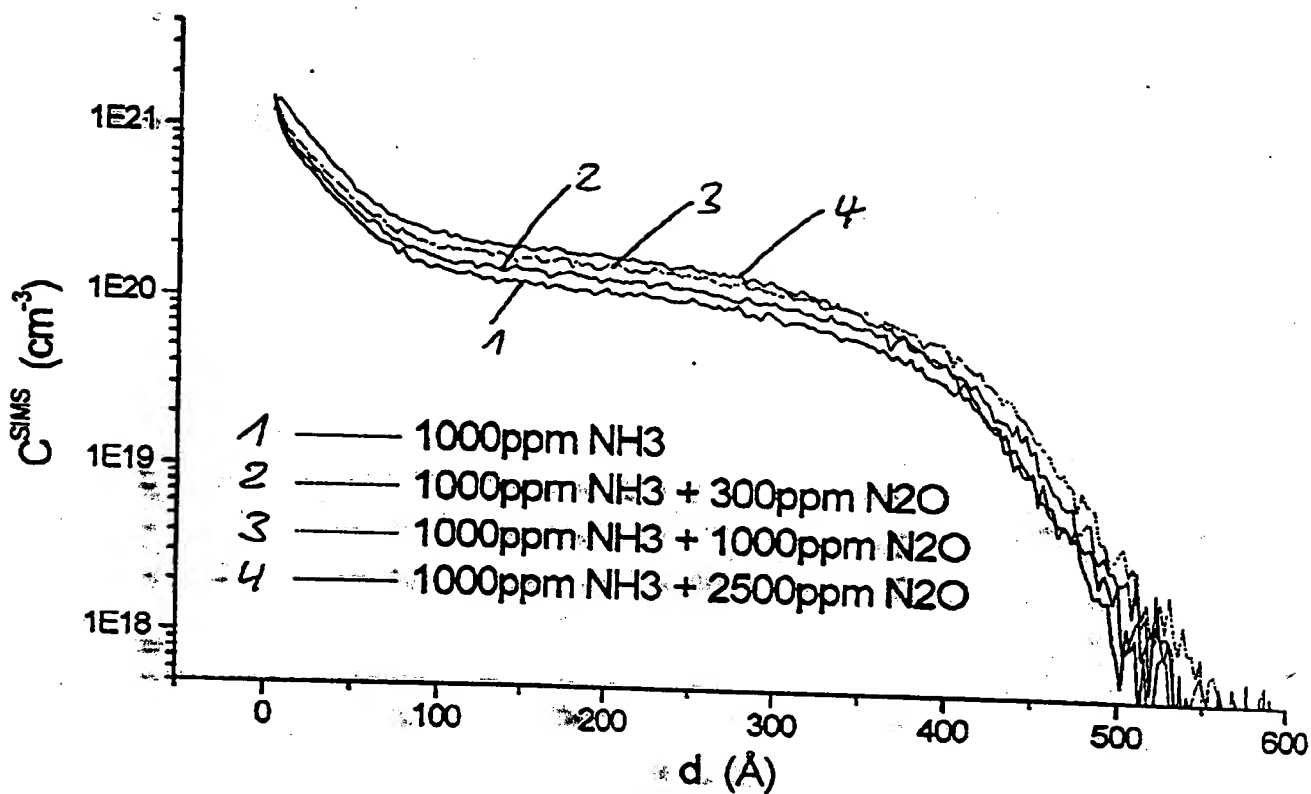
Figur 1



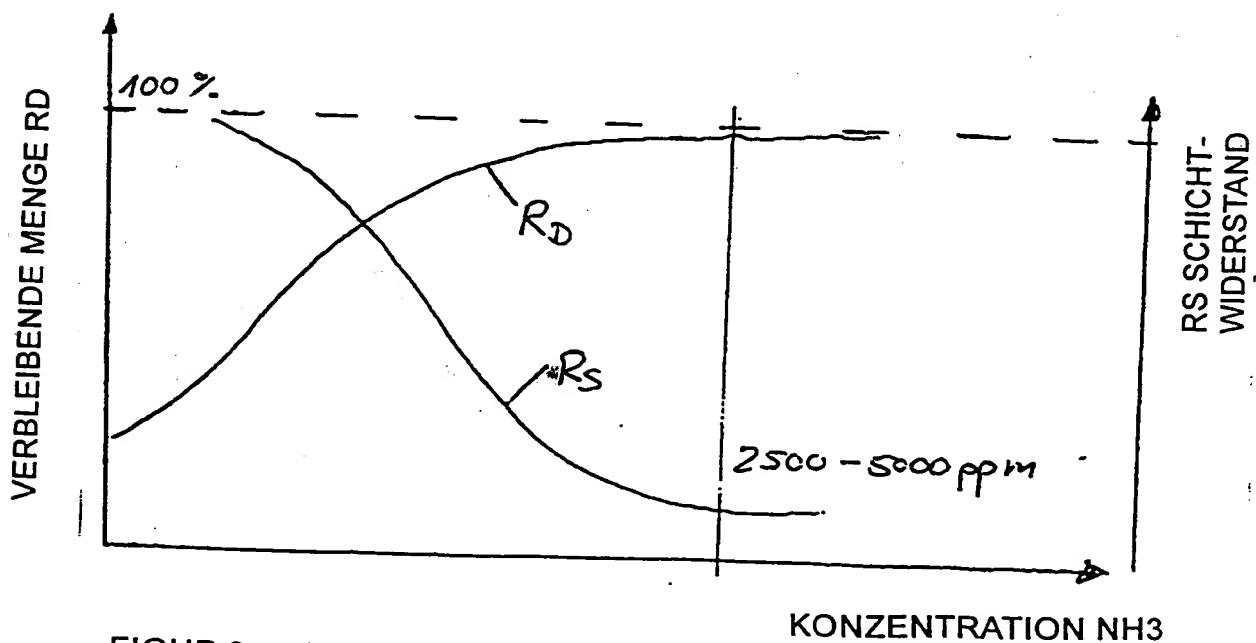
Figur 3



Figur 4



Figur 5



FIGUR 2